Aus der Abteilung für Zahnärztliche Chirurgie und Parodontologie
Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. W. Schulte
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Tübingen

DIE BELASTUNGSEMPFINDUNG VON MOLAREN

– Experimentelle Untersuchungen –

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde

dem Fachbereich Klinische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Fritz Albrecht Ellinger
aus
Stuttgart-Bad Cannstatt

1978

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41523712_0045

Aus der Abteilung für Zahnärztliche Chirurgie und Parodontologie
Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. W. Schulte
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Tübingen

DIE BELASTUNGSEMPFINDUNG VON MOLAREN

– Experimentelle Untersuchungen –

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde

dem Fachbereich Klinische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Fritz Albrecht Ellinger
aus
Stuttgart-Bad Cannstatt

1978

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Prof. Dr. H.-E. Hoffmeister
Berichterstatter: Prof. Dr. W. Schulte

Fotodruck H. Resch · Georgstraße 50 · 7402 Kirchentellinsfurt

Inhaltsverzeichnis

		Seite
I	Einleitung	1
II	Literaturübersicht	2
	1) Rezeptoren des Parodonts	3
	2) Rezeptoren innerhalb der Zahnhartsubstanz	5
III	Problemstellung	8
IV	Material und Methodik	1o
	1) Versuchsaufbau	1o
	2) Messung am Probanden	17
	3) Registrierung der Meßergebnisse	18
V	Ergebnisse	2o
	1) Darstellung der Ergebnisse	2o
	2) Statistik	3o
VI	Diskussion	34
VII	Zusammenfassung	38
VIII	Literaturverzeichnis	39

I Einleitung

Die Innervation der Zähne ist ein viel beachtetes Untersuchungsobjekt, da sich mit ihm das Problem des Zahnschmerzes verbindet.

Eine ebenso wichtige Frage ist die der Druckwahrnehmung durch Mechanorezeptoren, deren Beantwortung uns Hinweise auf die Funktionsabläufe des Kaumechanismus sowie deren Steuerung gibt.

Propriozeptive Eigenschaften von Kiefergelenk, Kaumuskulatur, Parodontium und oralen Weichteilen wurden bereits nachgewiesen. Ausgehend von der klinischen Beobachtung, daß kleinflächige oder punktförmige Aufbißbehelfe die reflektorische, kräftige Kontraktion der Mm. masseter und temporalis verkleinern oder verhindern, ist die Hypothese aufgestellt worden, daß die Größe der kraftaufnehmenden Fläche des Zahnes die Erregungsintensität von Rezeptorsystemen im Zahn beeinflußt, die wiederum über einen Reflexbogen die Größe der Muskelkontraktion steuert.

Die Frage, ob sich jedoch in den Zahnhartsubstanzen propriozeptive Eigenschaften befinden, ist weithin ungeklärt.

Als druckwahrnehmbare Rezeptorsysteme kommen in Betracht:

a) die Pulpa
b) der Zahnhalteapparat
c) die Zahnhartsubstanzen

Während im Zahnhalteapparat Sensoren nachgewiesen worden sind, ist dies in den Zahnhartsubstanzen nicht gelungen. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, ob auf experimentellem Weg druckperceptive Eigenschaften nachweisbar sind.

II Literaturübersicht

Die Steuerung des Kauvorganges erfolgt als ein Zusammenspiel corticaler und subcorticaler Zentren, wobei die Sensoren der perioralen Weichteile, der Zunge, die Propriozeptoren der Kaumuskulatur sowie die Mechanorezeptoren im Parodontium den automatisch ablaufenden Kauvorgang je nach Härte und Konsistenz des Bolus modifizieren (KAWAMURA 1964, KAWAMURA MAHMA 1964, SCHULTE 1967). Weitgehend ungeklärt ist im Zusammenhang mit diesem Reflexgeschehen die Bedeutung der Zähne.

BOLLINGER und LUKAS (1974) versuchten an intakten Eckzähnen, die Rezeptorsysteme im Bereich der Zahnhartsubstanzen nachzuweisen. Hierzu verwendeten sie die Kraft-Flächenbeziehung der Belastbarkeit von Zähnen, d.h. ob unterschiedliche Krafteinleitung auf die Zahnoberfläche zu unterschiedlicher Reizbeantwortung führte. Die Versuchsergebnisse konnten jedoch die Frage sensorischer Funktionen der Pulpa über die Zahnhartsubstanzen nicht bestätigen. Die individuelle und interindividuelle Streuung der Werte waren so groß, daß eine eventuell vorhandene Abhängigkeit der maximalen Kontraktionskraft von der Kontaktfläche nicht nachgewiesen werden konnte.

Die Messungen der maximalen Beißkraft von BOLLINGER und LUKAS (1974) wurden 1975 fortgesetzt. Weiterhin von MAIER (1976). Auch die weitere Zahl von Meßwerten konnte oben genannten Zusammenhang nicht bestätigen.

Die Autoren vermuten, daß die maximale Innervation der Kaumuskulatur die maximale Beißkraft bestimmt und daß diese nicht begrenzt wird durch Hemmeffekte von den im Zahn und Parodontium lokalisierten Rezeptoren.

1) Rezeptoren des Parodonts

Es empfiehlt sich, den Zahn und das umgebende Parodontium entsprechend der unterschiedlichen Funktionen neurophysiologisch zu trennen. Am Zahn unterscheiden wir zwei Innervationsgebiete. Die von der Pulpa in den Zahn eindringenden Nerven bilden ein inneres und die das Parodontium versorgenden Nerven ein äußeres Versorgungsgebiet. Es handelt sich um sensorische Fasern des Nervus trigeminus, die sowohl die Pulpa als auch den umgebenden Alveolarknochen versorgen. Sie können unterschieden werden in dicke Fasern mit Endorganen und dünne Fasern, denen die Übermittlung von Schmerzempfindungen zugeschrieben wird. Die dicken Fasern sollen der Druck- und Berührungsempfindung dienen LEWINSKY und STEWART (1937).

Weitere Autoren beschäftigten sich mit den sensiblen Eigenschaften des Parodontiums. VAN DER SPRENKEL (1936), BRASHEAR (1937), GRIFFIN und SPAIN (1972), KIZIOR (1968) beschreiben dicke Fasern im Nervus alveolaris inferior, die einen ähnlichen Durchmesser wie die sensiblen Nervenfasern der Muskelspindeln und der Golgi-Organe der Sehnen besitzen. Sie ziehen daraus den Schluß, daß sie ebenfalls proprioceptive Funktionen haben.

Zum anderen wurden die proprioceptiven Eigenschaften des Parodontiums in zahlreichen physiologischen Experimenten geprüft.

ADLER (1947), HANNAM (1969), HANNAM, MATTHEWS, YEMM (1969), HANNAM, MATTHEWS, YEMM (1970), HILTON (1971), KAWAMURA (1964), der bei Versuchen mit Katzen feststellte, daß bei horizontaler Belastung der Zähne Aktionspotentiale im Nucleus sensorius nervi trigemini entstehen.

MANLY, PFAFFMANN, LATHROP und KEYSER (1952), MÜNCH und SCHRIEVER (1931), OWALL und MÖLLER (1974), PFAFFMANN (1939), der die Mechanorezeptoren wahrscheinlich ausschließlich im Paro-

dontium lokalisierte, da nach Druckapplikation auf Oberkieferzähne elektrische Impulse sich im Nervus maxillaris auch nach Exstirpation der Pulpa ableiten ließen.

SIIRILA und LAINE (1963), SKRAMLIK (1952), STEWART (1927), MATTHEWS(1965), AHLGREEN (1969), ANDERSON (1971), BESSETTE (1974), BRENMAN (1968), FUNAKOSHI (1974), GIBBS und SUIT (1973), GRIFFIN und MUNRO (1969), HANNAM und MATTHEWS(1969), HANNAM,MATTHEWS und YEMM (1968), JERGE (1964), KAWAMURA (1967, 1971), MOTSCH und LEHNERT(1972), SCHÄRER, STALLARD und ZANDER (1967), SCHUHMACHER (1971), SESSLE (1972), SESSLE und SCHMITT (1972), SINGER (1971), UHLIG (1953).

DRECHSLER, KOHNO, KÜHL und NEUHAUSER (1973) überprüften das Innervationsmuster der Mm. masseter nach Anlegen einer Aufbißschiene bei Probanden mit vollständigen Zahnreihen. Sie fanden, daß die okklusalen Interferenzen zu gesteigerten Amplituden der somatosensorisch evozierten Potentiale nach Trigeminusreizung führten. Die Autoren nehmen "als Quelle des Informationsflusses vor allem die Mechanorezeptoren der parodontalen Gewebe" an, weisen aber darauf hin, "daß die reflexbezogenen Zentren ... von sehr mannigfaltigen Einflüssen gesteuert werden, die aus den verschiedensten peripheren Rezeptoren auf die Zentren wirken."

Eine Reihe von Autoren, wie SCHAERER et al. (1967), BRENMAN et al. (1968) kamen aufgrund ihrer experimentellen Arbeiten zu dem Schluß, daß die parodontalen Mechanorezeptoren bei Zahnkontakt die Inhibition der Adduktoren sowie die Exzitation der Mundöffner auslösen.

Dagegen zeigten HANNAM und MATTHEWS(1968, 1969), daß eine Stimulation dieser Rezeptoren bei einer Katze einen Kieferöffnungsreflex hervorrufen kann. Dies tritt jedoch nur bei starker Erregung der desmodontalen Mechanorezeptoren auf. Dieser Reflexmechanismus hat die Aufgabe, das Kausystem vor Überlastung zu schützen, wie dies in einer ähnlichen Weise die Golgischen Sehnenorgane bei der quergestreiften Muskulatur bewirken.

SHERRINGTON (1919) stellte bei seinen experimentellen Arbeiten fest, daß Kieferbewegungen und Kieferstellungen durch Impulse von Rezeptoren geregelt werden, die in verschiedenen Teilen des Kausystems, darunter auch im Parodont, lokalisiert sind. In den letzten Jahren bestätigten eine Reihe tierexperimenteller Arbeiten diese Hypothese. JERGE (1963, 1964), KAWAMURA und NISHIJAMA u. a. (197o).

2) Rezeptoren innerhalb der Zahnhartsubstanz

Bis heute gibt es keine einheitliche Auffassung über die Dentininnervation. BERNICK (1952) bestreitet das Vorkommen von Nervenfasern im Dentin. Andere Forscher, wie AVERY (1959) und ARWILL (1967) haben dagegen die Nervenfasern sowohl in der Grundsubstanz als auch in den Dentinkanälchen nachweisen können.

Ein anderes Problem ist das der anatomischen Beziehungen zwischen den Pulpennerven und den Odontoblasten. VAN DER SPRENKEL (1935) wies durch umfangreiche lichtmikroskopische Innervationsstudien Nervenendigungen in den Dentinkanälchen nach, die in Ringen enden. Aufgrund seiner Befunde sprach er den Odontoblasten die Funktion von Sinneszellen ab und sah die Endösen als perceptive Elemente an, die gemeinsam mit Pressorezeptoren im Parondontium eine reflektorische Steuerung der Kautätigkeit bewirken. Den Odontoblasten maß er die Funktion von Leitzellen zu.

Der Nachweis von Cholinesterase in den Tomes'schen Fasern durch AVERY und RAPP (1959) legt die Vermutung nahe, daß die Odontoblasten imstande sind, spezielle rezeptorische Funktionen auszuüben. Bei Flüssigkeitsbewegungen in den Dentinkanälchen werden die in ihnen befindlichen Tomes'schen Fasern gereizt BRÄNNSTRÖM(196o, 1961). Veränderungen des normalen Lymphstromes in den Kanälchen (BARTHELSTONE 1951, BROWN, WACHTEL, WHEATEROFT 1962) können durch Druckeinwirkungen auf den Zahn zustande kommen.

Die Ansicht, daß die Odontoblasten mechanorezeptorische Funktionen ausüben, setzt allerdings voraus, daß ihre Erregungen auf die Nerven übertragen werden. Hierzu sind Synapsen notwendig, die bisher noch nicht nachgewiesen wurden.

1955 untersuchten LOEWENSTEIN und RATHKAMP die Berührschwellen vitaler und marktoter Zähne. Die ungleich höheren Schwellenwerte marktoter Zähne und mit Metallkappen bedeckter vitaler Zähne veranlaßten zu der Schlußfolgerung, daß auch im Bereich der Pulpa bzw. der Zahnhartsubstanzen Rezeptororgane mit einer dem Desmodont überlegenen Empfindlichkeit vorhanden sein müssen.

Zwölf Jahre später stellte SCHULTE (1967) dieses Problem im Rahmen therapeutischer Überlegungen zu Myoarthropathien erneut zur Diskussion. Praktische Erfahrungen mit unterschiedlichen Aufbißbehelfen und myotonographische Untersuchungen der Kaumuskulatur führten zu der Hypothese, daß reflektorische Steuerungsvorgänge im Kauorgan wesentlich durch sensorische Impulse von Seiten der Zahnhart substanz beeinflußt werden können. Die Wirkung des punktförmigen Aufbißbehelfes erklärt SCHULTE damit, daß nur wenige dentale parodontale Rezeptoren gereizt werden können und somit die reflektorisch gesteuerten Kontraktionsgrößen herabgesetzt werden. "Je kleiner die Kontaktzone, desto geringer der Rezeptorreiz und desto geringer die Kontraktionsgröße".

Um die Belastungsgrenzen der einzelnen Zähne festhalten zu können, unternahm MARTINKO (1965 und 1968) Messungen mit einem mechanischen Gnathodynamometer. Für die Berührung mit der Zahnoberfläche wurden Auflagen aus Hartmetall, Kunstharz, Hart- und Weichgummi benützt.

Es zeigte sich, daß die Probanden mit umso geringerer Kraft zubissen, je härter das Material des Prüfkörpers war. MARTINKO führte dieses Ergebnis auf die kleinere Kontaktzone mit der Zahnoberfläche zurück, die harte Körper im Vergleich

zu weichen besaßen. "Je kleiner die der Zahnoberfläche aufliegende Fläche der Meßeinrichtung ist, umso eher wird die Belastungsgrenze des Zahnes durch Reizleitung - via pulpa - bestimmt."

LUDWIG (1975) mißt mit selbstentwickeltem induktiven Kraftaufnehmer die maximal erreichbaren Kieferschlußkräfte. Er findet eine Abhängigkeit der intermaxillären Kraftentwicklung

a) von der Oberflächenbeschaffenheit (unversehrt, gefüllt, überkront)
b) von der krafteinleitenden Fläche
c) vom Zustand der Pulpa (vital, vitalamputiert, marktot).

Bei vitalamputierten und marktoten Zähnen waren die Kraftwerte weitgehend identisch. Bei teilweiser oder gänzlichen Entfernung der Pulpa bzw. nach Überkronung eines vitalen Zahnes wird vom Kauorgan, unabhängig von der krafteinleitenden Fläche, die der Stellung des jeweiligen Zahnes entsprechende Absolutkraft entwickelt.

Er folgert, daß die Pulpa für akute Belastungsreize den entscheidenden Rezeptor darstellt. Die desmodontale Hemmschwelle muß höher als die Hemmschwelle der Pulpa angesetzt werden. Andererseits ist bekannt, daß das Desmodont bei traumatischen Reizen, die im Rahmen üblicher Kontaktintensität noch keine Reaktion der Pulpa bewirken, nach einer gewissen Latenzzeit Reaktionen von zunehmender Intensität zeigt. Es scheint hier im Gegensatz zur Pulpa eine dynamische Hemmschwelle vorzuliegen, die von der Dauer und Größe der Belastungsgrenze abhängt.

Aufgrund der Befunde müßte die Pulpa für die sensorische Steuerung kurzzeitiger akuter Belastungsreize, das Desmodont für die sensorische Steuerung langzeitiger chronischer Belastungsreize verantwortlich sein.

III Problemstellung

Die Aufgabe dieser Arbeit war es nachzuweisen, ob unterschiedliche Krafteinleitung auf eine Zahnoberfläche zu unterschiedlicher Reizbeantwortung führt. Hierbei wurde einmal im Bereich der Höcker, das andere Mal in der Fissur belastet. Falls es Rezeptoren in der Zahnhartsubstanz gibt, müßte der Unterschied der Reizantwort zwischen Fissur und Höcker am größten sein, da einerseits durch die kuppelförmige Ausbildung des Höckers, andererseits durch die muldenförmige Ausbildung der Fissur (Abb. 1) dort die Spannungsunterschiede am größten sind.

Abb. 1: Schematischer Schnitt durch einen Molaren. Kuppelförmige Ausbildung der Höcker, muldenförmige Ausbildung der Fissur

Zu diesem Zweck mußte eine Versuchsanordnung gefunden werden, mit der es möglich war, diese Forderungen zu erfüllen. Dabei wurden zu einem Teil jene von BOLLINGER und LUKAS (1974) übernommen. Als Reizantwort wurde die subjektiv aufzubringende maximale Beißkraft gewählt, da deren Steuerung als die wahrscheinlichste physiologische Aufgabe eines Rezeptorsystems im Zahn erschien. Als Testzahn diente der erste Molar.

Hiermit sollte der Zusammenhang zwischen Belastungsort und subjektiv aufgebrachter Beißkraft geklärt werden.

IV Material und Methodik

1) Versuchsaufbau

Die Meßanordnung bestand aus drei Teilen, einem Teil zur Krafteinleitung, einem Kraftaufnehmer und einer Schiene (Abb. 2 und 3).

Für die Messung in der Fissur wurde der Teil zur Krafteinleitung in Form eines Kegels aus gehärtetem Stahl hergestellt (Abb. 2a und 3a).

Zur Messung auf dem Höcker diente eine ebenfalls aus gehärtetem Stahl bestehende Unterlagsscheibe (Abb. 2b und 3b).

Der Kraftaufnehmer (Abb. 4) bestand aus einem Quarzkristall. Er arbeitete nach dem piezoelektrischen Prinzip und diente zur Messung dynamischer und quasi-statischer Kräfte (Typ 9211 Firma Kistler). Die zu messende Kraft wirkte über die beiden Stirnflächen des Aufnehmers direkt auf die Quarzscheiben. Ein zylindrischer Mantel verband die beiden Stirnflächen und schützte die Quarzscheiben. Durch den longitudinalen Piezoeffekt entstand im Aufnehmer eine der zu messenden Kraft proportionale elektrische Ladung Q. Sein Auflösungsvermögen war 1o mN (1 p), seine Größe 6 mm Durchmesser und 6 mm Höhe. Der Aufn hmer war vom Hersteller individuell kalibriert. Aus der Kalibrierurkunde ergab sich ein linearer Zusammenhang zwischen Kraft und Ladung zwischen o und 25o N. Die Empfindlichkeit war $-4{,}32\ \frac{pC}{N}$ ($1o^{-12}$ Coulomb/Newton). Eine geringe Höhe des Aufnehmers war wichtig, da mit zunehmender Mundöffnung die Kraftarme (Lote aus den Drehpunkten auf die Kraftrichtung) durch Vorgleiten des Gelenkkopfes kleiner wurden, wodurch zwangsläufig eine Reduktion der Krafteinwirkung verbunden war. Durch seine geringen Abmessungen, seinen kleinen Temperaturfehler und die hohe mechanische Stabilität war dieser Kraftaufnehmer für die Messung von Kaukräften besonders geeignet.

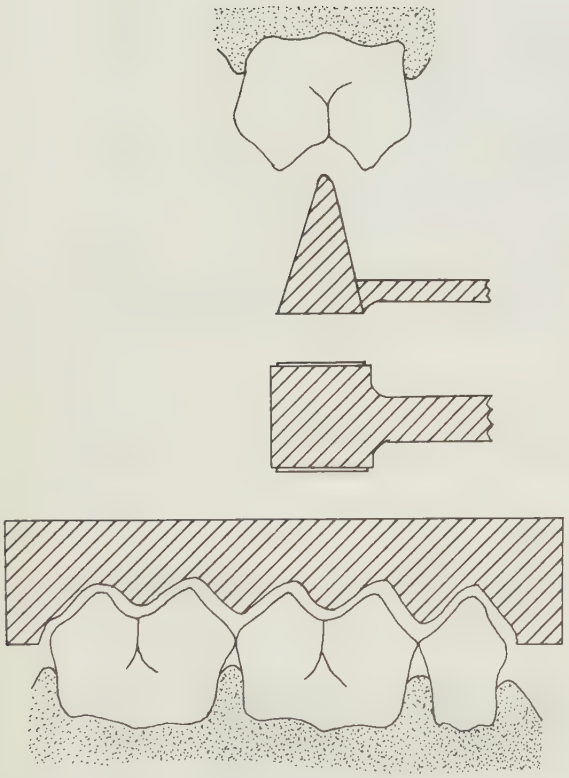


Abb. 2a: Schematische Darstellung der Versuchsanordnung Schnitt im Bereich der ersten Molaren: Messung in der Fissur

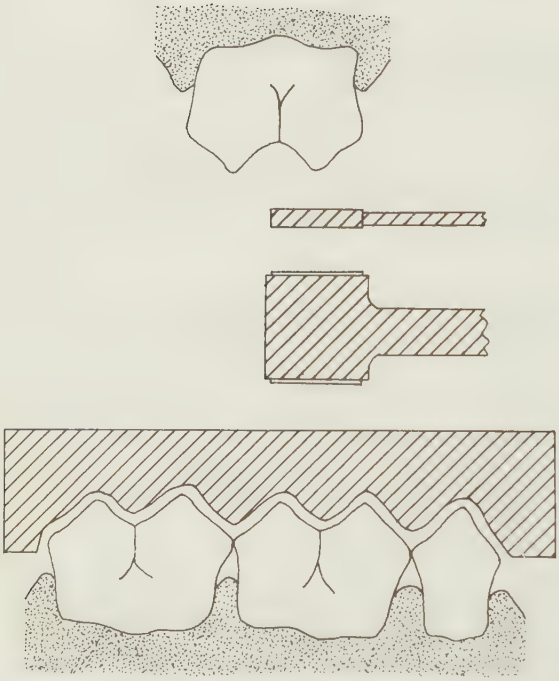


Abb. 2b: Schematische Darstellung der Versuchsanordnung Messung auf dem Höcker

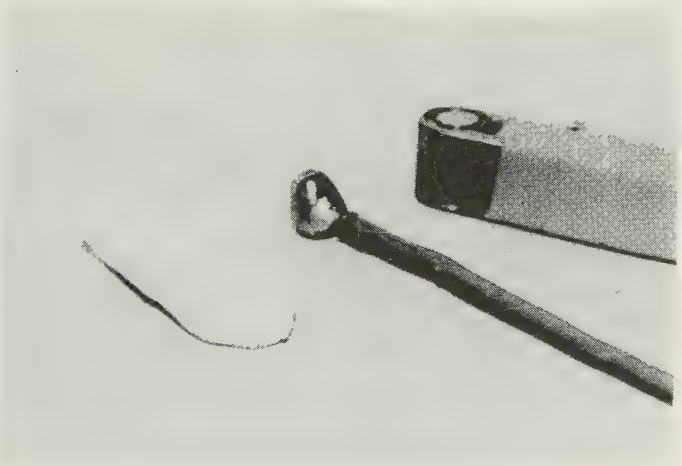


Abb. 3a: Kaltpolymerisatschiene, Kegel, Kraftaufnehmer

Abb. 3b: Kaltpolymerisatschiene, Unterlagscheibe, Kraftaufnehmer

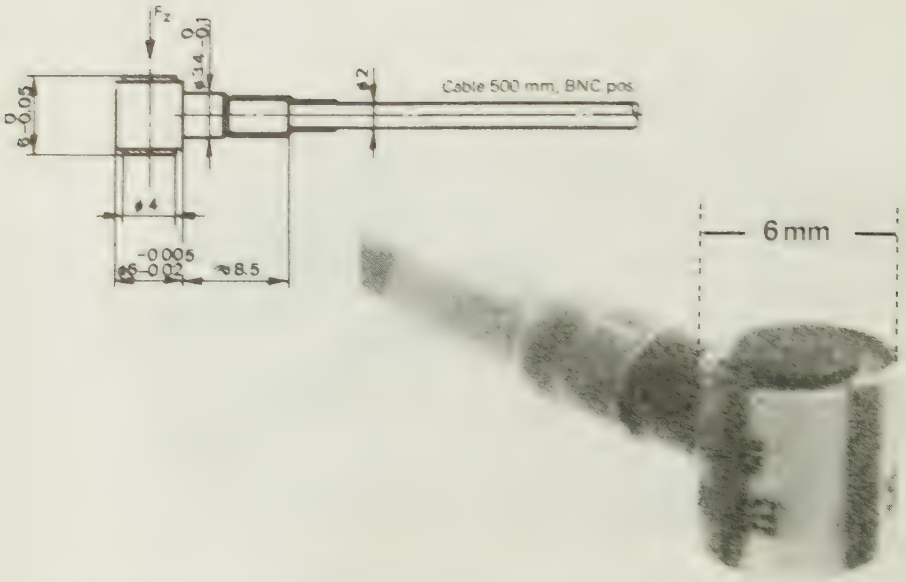


Abb. 4: Kraftaufnehmer (Hersteller: Firma Kistler)

Zur Abstützung des oben beschriebenen Kraftaufnehmers wurden drei Zähne des Unterkiefers mit einer individuell hergestellten Kaltpolymerisatschiene umfaßt. Sie wurde im direkten Verfahren hergestellt, indem die Masse in teigigem Zustand auf die Zahnreihe gebracht und kurz vor dem Erhärten entfernt wurde. Außerhalb des Mundes wurden die unter sich gehenden Stellen mit einer Fräse beseitigt und die Auflagefläche für den Kraftaufnehmer begradigt.

Die Meßeinrichtung im Mund zeigt Abb. 5.

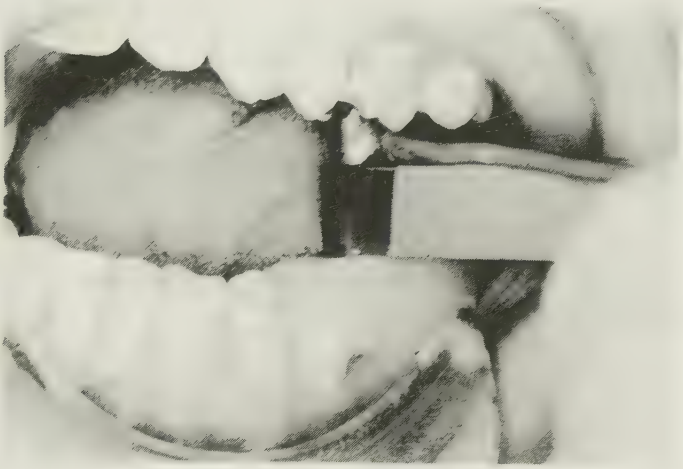


Abb. 5a: Kaltpolymerisatschiene, Kraftaufnehmer und Kegel in situ

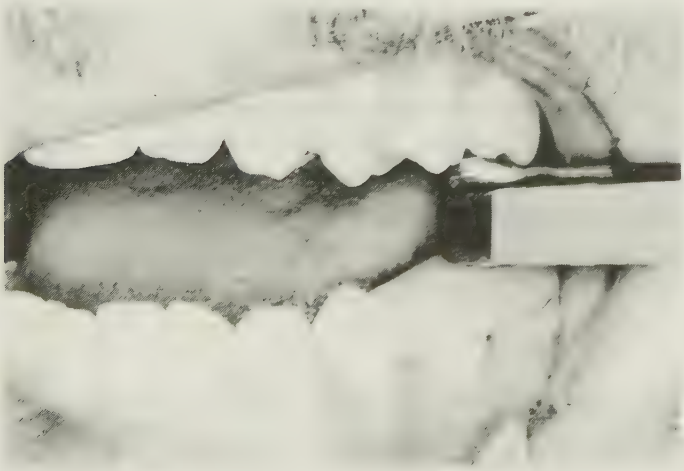


Abb. 5b: Kaltpolymerisatschiene, Kraftaufnehmer und Unterlagsscheibe in situ

Bei der Versuchsanordnung betrug die Bißsperrung 7 mm.

Um eine Kippung des Unterkiefers während des Zubeißens zu verhindern, wurde auf der Gegenseite ein Kunststoffkeil zwischen die Zahnreihen eingelegt.

Die bei der Belastung erzeugte Ladung wurde von einem Verstärker erfaßt und durch einen Kompensationsschreiber aufgezeichnet.

Abb. 6 zeigt eine Prinzip-Schaltskizze, aus der der gesamte Versuchsaufbau entnommen werden kann.

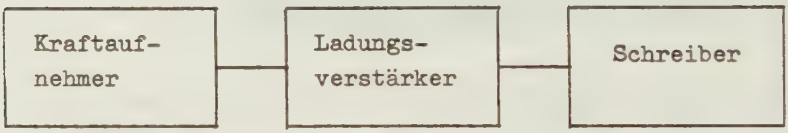


Abb. 6: Prinzip-Schaltskizze des Versuchsaufbaus

Ladungsverstärker und Kompensationsschreiber waren beide nach Schutzklasse II gebaut (doppelte Isolation). Damit wurden im wesentlichen die Bestimmungen VDE 0750 erfüllt, die für elektromedizinische Geräte gültig sind.

Der wahrscheinliche Gerätefehler errechnete sich nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz.

Der Fehler des Kraftaufnehmers $\triangle F$ war $\pm$ 0,8 %
der Fehler des Ladungsverstärkers $\triangle L$ war $\pm$ 1,0 %
der Fehler des Kompensationsschreibers $\triangle S$ war $\pm$ 0,5 %

Daraus setzte sich der Gesamtfehler $\triangle M$ der Meßeinrichtung zusammen:

$$\triangle M = \sqrt{\triangle F^2 + \triangle L^2 + \triangle S^2}$$
$$= 1{,}4\ \%$$

2) Messung am Probanden

Jedem Probanden wurde vor Versuchsbeginn Gelegenheit gegeben, sich durch Probemessungen an die Apparatur zu gewöhnen.

Bei Vorversuchen kam es bei mehreren aufeinanderfolgenden Messungen zu einem Abfall der maximalen Beißkraft. Daher lagen zwischen je zwei Messungen (einmal in der Fissur, dann auf dem Höcker) mehr als 24 Stunden, um eine Überlastung des Kiefergelenks und Mikroläsionen der Muskulatur zu vermeiden.

Die Messungen wurden um die Mittagszeit durchgeführt, um einer eventuellen unterschiedlichen tageszeitlichen Berühr- und Schmerzempfindlichkeit Rechnung zu tragen (PÖLLMANN und HILDEBRANDT 1973, PÖLLMANN, HILDEBRANDT und SCHNELL 1974 a, b).

Vor Beginn der eigentlichen Messungen wurde der Kraftaufnehmer drei Minuten in die Mundhöhle gebracht, um den Temperaturfehler möglichst niedrig zu halten.

Die Probanden wurden aufgefordert, so kräftig wie möglich zuzubeißen. Sie waren dabei nicht informiert, ob die Messung

auf dem Höcker oder in der Fissur erfolgte. Die Reihenfolge der Messung - zuerst Fissur oder zuerst Höcker - war rein zufällig. Nach Versuchsende wurden die Probanden gefragt, warum sie nicht stärker zugebissen hätten.

3) Registrierung der Meßergebnisse

Bei 22 Messungen wurde der Kraftanstieg zeitlich registriert. Die Umzeichnung einer typischen Originalschreiberkurve des Kräfteverlaufs beim Beißvorgang zeigt Abb. 7.

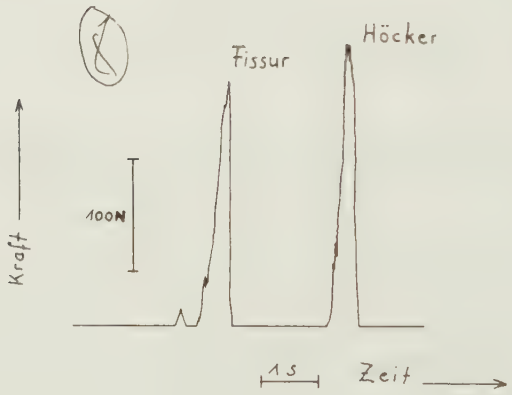


Abb. 7: Kräfteverlauf beim Beißvorgang. Umzeichnung einer typischen Originalschreiberkurve. Schneller Anstieg bis zum Maximum. Steiler Abfall auf Null nach Erreichen des Kräftemaximums.

x-Achse: Zeit in Sekunden von links nach rechts

y-Achse: Kontraktionskraft in Newton

Die Vorzacke entstand bei 25 % der Messungen durch Kontaktaufnahme mit der Meßeinrichtung. Der Kraftanstieg bis zum Maximum erfolgte in der Regel mit kurzzeitigen Remissionen.

Bei allen Messungen ergab sich eine konstante Kraftanstiegsgeschwindigkeit. Sie betrug im Mittel 500 N/s. Der Mindestwert war 94 N/s, der Maximalwert 1175 N/s. Es war keine Abhängigkeit festzustellen, ob auf den Höcker oder in die Fissur gebissen wurde. Ein Zusammenhang mit Absplitterungen oder den verschiedenen Empfindungsangaben konnte ebenfalls nicht festgestellt werden. Auch der Wert der maximalen Beißkraft zeigte keinen Zusammenhang mit der Kraftanstiegsgeschwindigkeit. Daher wurde bei dem größeren Teil der Messungen auf die zeitliche Aufzeichnung des Kräfteverlaufs verzichtet.

V Ergebnisse

1) Darstellung der Ergebnisse

146 Messungen bei 15 Versuchspersonen ohne Anzeichen von Parodontopathien (3 Frauen und 12 Männer) wurden durchgeführt. Die gemessenen Kraftwerte sämtlicher Probanden enthält die Tabelle 2.

Bei 2/3 der 15 Probanden wurden Schmelzpartikel abgesprengt. Die beschädigte Zahnoberfläche wurde anschließend sorgfältig poliert und mit Duraphat, einem Fluorlack, touchiert.

Auf die Frage, warum sie nicht stärker zugebissen hatten, wurden folgende Antworten in fallender Häufigkeit gegeben:
"Stärker geht nicht mehr, maximal zugebissen".
"Angst vor weiterem Zubeißen"."Unangenehmes Gefühl".
Auf die Frage nach Schmerzempfindungen gaben 5,5 % an, nach Belastungsende Schmerzen im Bereich des Parodontiums zu haben - "an der Wurzelspitze". Die Ergebnisse der Empfindungsangaben sind in der Abb. 7 und Tabelle 1 graphisch dargestellt. Wegen der großen Variationsbreite waren keine Unterschiede zwischen den Kraftwerten und den Empfindungsangaben feststellbar.

Tabelle 1: Empfindungsangaben und Kraftwerte

Die Bereiche maximale-minimale Kraft überschnitten sich bei allen Empfindungsangaben, sowohl beim Beißen auf dem Höcker, als auch beim Beißen in die Fissur. Daher waren keine Unterschiede feststellbar. Es ließ sich lediglich ein schwacher Trend erkennen, daß die Kraftwerte von "maximaler Kontraktion" über "Angst" zu "unangenehm" geringer wurden.

	max. Kontraktion		Angst		unangenehm		Nachschmerz	kein Nachschmerz
	Höcker	Fissur	Höcker	Fissur	Höcker	Fissur		
Maximalwert	46o	462,5	317,5	295	217,5	182,5	245	46o
Mittelwert	244	229	198	182	195	165	234	218
Mindestwert	8o	112,5	9o	117,5	122,5	127,5	225	8o

Tabelle 2:
Kraftwerte, Empfindungen während des Beißens und aufgetretene Defekte bei den einzelnen Probanden. Unterteilt in Höcker und Fissur.
Die Probanden sind nach fallenden Mittelwerten der Höcker angeordnet (der Krafteinheit 1 Newton entsprechen o,1 kp). Die Werte der einzelnen Probanden sind in der zeitlichen Reihenfolge angegeben.

Proband 1

männlich	Kraftwert	Empfindung	Defekt/Nachschmerz
Höcker	46o N	max. Kontrakt.	Höckerteil abgebr.
	375	max. Kontrakt.	
	MW(418 N)		
Fissur	462,5 N	max. Kontrakt.	
	215	max. Kontrakt.	Zahn frakturiert
	MW(339 N)		

Proband 2
männlich

Höcker	27o N	Angst	Höckerteil abgebr.
	295	max. Kontrakt.	Höckerteil abgebr.
	31o	max. Kontrakt.	
	31o	max. Kontrakt.	
	327,5	max. Kontrakt.	
	3oo	max. Kontrakt.	
	315	max. Kontrakt.	
	MW 3o3,9 N		
Fissur	367,5 N	max. Kontrakt.	
	35o	max. Kontrakt.	
	255	max. Kontrakt.	
	26o	max. Kontrakt.	
	28o	max. Kontrakt.	
	347,5	max. Kontrakt.	
	317,5	max. Kontrakt.	
	MW 311,1 N		

Proband 3

männlich	Kraftwert	Empfindung	Defekt/Nachschmerz
Höcker	315 N	max. Kontrakt.	
	32o	max. Kontrakt.	Höckerteil abgebr.
	29o	max. Kontrakt.	
	27o	max. Kontrakt.	
	217,5	unangenehm	
	MW 282,5 N		
Fissur	3o2,5 N	max. Kontrakt.	
	31o	max. Kontrakt.	
	27o	max. Kontrakt.	
	255	max. Kontrakt.	
	2oo	Angst	
	MW 267,5 N		

Proband 4

männlich

Höcker	317,5 N	Angst
	325	max. Kontrakt.
	295	Angst
	28o	max. Kontrakt.
	295	max. Kontrakt.
	26o	Angst
	285	max. Kontrakt.
	MW 279,6 N	
Fissur	215 N	Angst
	217,5	max. Kontrakt.
	225	max. Kontrakt.
	22o	max. Kontrakt.
	21o	Angst
	212,5	Angst
	212,5	max. Kontrakt.
	MW 216,1 N	

Proband 5

männlich	Kraftwert	Empfindung	Defekt/Nachschmerz
Höcker	210 N	Angst	Höckerteil abgebr.
	217,5	Angst	Höckerteil abgebr.
	290	max. Kontrakt.	
	250	max. Kontrakt.	
	212,5	unangenehm	
	255	max. Kontrakt.	
	215	max. Kontrakt.	
	M= 235,7 N		
Fissur	187,5 N	max. Kontrakt.	Nachschmerz
	162,5	Angst	
	200	max. Kontrakt.	
	185	max. Kontrakt.	
	170	Angst	
	230	max. Kontrakt.	
	197,5	max. Kontrakt.	
	M= 190,4 N		

Proband 6

männlich			
Höcker	245 N	max. Kontrakt.	Nachschmerz
	217,5	max. Kontrakt.	
	232,5	max. Kontrakt.	Nachschmerz
	222,5	max. Kontrakt.	
	225	max. Kontrakt.	
	225	max. Kontrakt.	Nachschmerz
	225	max. Kontrakt.	
	M= 227,5 N		
Fissur	217,5	max. Kontrakt.	
	2 7,5	max. Kontrakt.	
	250	max. Kontrakt.	
	237,5	max. Kontrakt.	
	215	max. Kontrakt.	
	225	max. Kontrakt.	
	212,5	max. Kontrakt.	
	M= 223,6 N		

Proband 7 männlich	Kraftwert	Empfindung	Defekt/Nachschmerz
Höcker	235 N	Angst	Höckerteil abgebr.
	225	Angst	
	MW(23o N)		
Fissur	132,5 N	Angst	
	14o	Angst	
	MW(136 N)		
Proband 8 männlich			
Höcker	26o N	Angst	
	19o	Angst	
	235	Angst	
	182,5	Angst	
	235	max. Kontrakt.	
	MW 22o,5 N		
Fissur	225 N	Angst	
	175	Angst	
	195	Angst	
	182,5	Angst	
	212,5	max. Kontrakt.	
	MW 198,o N		
Proband 9 männlich			
Höcker	18o N	Angst	
	227,5	max. Kontrakt.	
	227,5	max. Kontrakt.	Nachschmerz
	195	Angst	
	MW 2o7,5 N		
Fissur	275 N	Angst	
	295	Angst	
	272,5	max. Kontrakt.	
	19o	Angst	
	MW 258,o N		

Proband 1o

männlich	Kraftwert		Empfindung	Defekt/Nachschmerz
Höcker	2o5	N	unangenehm	Höckerteil abgebr.
	19o		unangenehm	
	2o5		unangenehm	Höckerteil abgebr.
	2oo		unangenehm	
	2o7,5		unangenehm	
	192,5		Angst	
	MW 2oo,o	N		
Fissur	19o	N	max. Kontrakt.	
	17o		unangenehm	
	182,5		unangenehm	
	18o		unangenehm	
	155		Angst	
	18o		Angst	
	MW 176,5	N		

Proband 11

männlich

Höcker	165	N	Angst	Höckerteil abgebr.
	22o		max. Kontrakt.	Höckerteil abgebr.
	MW(193	N)		
Fissur	2o5	N	max. Kontrakt.	
	267,5		max. Kontrakt.	
	MW(236	N)		

Proband 12
weiblich

	Kraftwert	Empfindung	Defekt/Nachschmerz
Höcker	17o N	Angst	
	192,5	max. Kontrakt.	
	172,5	Angst	Nachschmerz
	225	max. Kontrakt.	Höckerteil abgebr.
	MW 19o,o N		
Fissur	155 N	Angst	
	17o	max. Kontrakt.	Nachschmerz
	122,5	Angst	
	185	max. Kontrakt.	Nachschmerz
	MW 155,7 N		

Proband 13
weiblich

Höcker	185 N	max. Kontrakt.	Höckerteil abgebr.
	17o	max. Kontrakt.	
	125	Angst	Höckerteil abgebr.
	175	max. Kontrakt.	
	122,5	unangenehm	
	162,5	Angst	
	MW 156,7 N		
Fissur	22o N	max. Kontrakt.	
	175	max. Kontrakt.	
	117,5	Angst	
	177,5	max. Kontrakt.	
	127,5	unangenehm	
	175	Angst	
	MW 165,4 N		

Proband 14

weiblich	Kraftwert	Empfindung	Defekt/Nachschmerz
Höcker	145 N	max. Kontrakt.	
	11o	Angst	
	1oo	Angst	
	147,5	max. Kontrakt.	
	9o	Angst	
	MW 118,5 N		
Fissur	162,5 N	max. Kontrakt.	
	152,5	Angst	
	155	Angst	
	172,5	max. Kontrakt.	
	162,5	max. Kontrakt.	
	MW 161,o N		

Proband 15

männlich			
Höcker	8o N	max. Kontrakt.	
	8o	max. Kontrakt.	
	16o	max. Kontrakt.	Höckerteil abgebr.
	1o2,5	max. Kontrakt.	
	MW 1o5,6 N		
Fissur	117,5 N	max. Kontrakt.	
	112,5	max. Kontrakt.	
	15o	max. Kontrakt.	
	122,5	max. Kontrakt.	
	MW 125,6 N		

Abb. 7: Die Häufigkeit der verschiedenen Empfindungsangaben

2) Statistik

Die statistischen Berechnungen der Meßergebnisse wurden mit einem programmierbaren Tischrechner (Typ 9820 A der Fa. Hewlett-Packard) durchgeführt. Die Rechenprogramme folgten der Darstellung in CAVALLI-SFORZA (1972).

Den Berechnungen wurden nicht die Kraftwerte selbst, sondern die Differenzen der Messungen in der Fissur und auf der Hökkerspitze zugrunde gelegt.

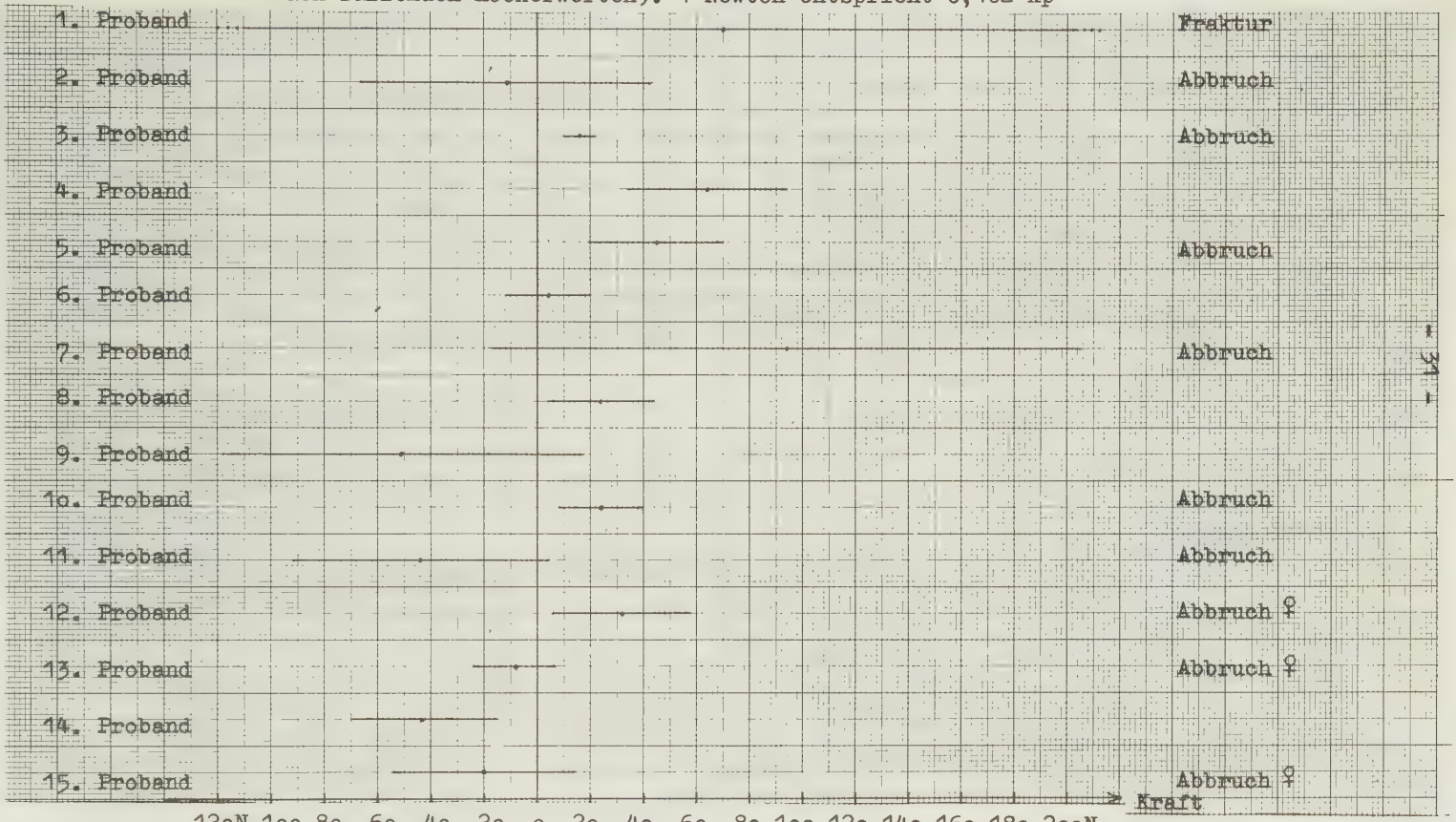
In Abb. 8 sind die Mittelwerte, die sich bei den einzelnen Probanden aus den Differenzen Höcker - Fissur ergaben zusammen mit den 95 % - Vertrauensbereichen graphisch dargestellt. Sie bewegen sich von -52 N bis +94 N.

6 von 15 Vertrauensbereichen lagen ganz im positiven Bereich, d.h. die Differenz Höcker - Fissur war positiv, was bedeutete, daß der Höckerwert höher war. Nur 1 Vertrauensbereich war negativ. 8 Vertrauensbereiche schlossen den Nullpunkt ein, d.h. die Mittelwerte dieser Meßreihen unterschieden sich nur zufällig von Null.

Zusätzlich wurde mit einem t-Test geprüft, ob sich die mittleren Differenzen signifikant von Null unterschieden. Der errechnete t-Wert mußte höher sein als ein Mindestwert, damit der Unterschied gegen Null als gesichert gelten konnte. Es war bei 8 Probanden ein signifikanter Unterschied gegen Null nicht feststellbar. Bei 7 war ein signifikanter Unterschied gegen Null vorhanden mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner 5 %. Das Ergebnis, welches mit den Vertrauensbereichen erhalten wurde, wurde somit bestätigt.

Mit einer Varianzanalyse wurde geprüft, ob zwischen einzelnen Meßreihen signifikante Unterschiede bestanden.
Tabelle 3 zeigt die geprüften Meßreihen.

Abb. 8: Differenzen der Beißkräfte auf Höcker und in Fissur. Aufgeführt sind die mittleren Differenzen und ihre 95%-Vertrauensbereiche für jeden Probanden (geordnet nach fallenden Höckerwerten). 1 Newton entspricht o,1o2 kp



Probanden 1, 7 und 11 konnten je nur 2 mal gemessen werden

Tabelle 2: Differenz der Beißkräfte auf Höcker und in Fissur

	Mittlere Differenz	95% - Vertrauensbereich untere und obere Grenze		Prüfung der Mittelwerte auf signifikante Unterschiede gegen Null t-Wert	Mindestwert	
Proband 1	7o N	- 96o N	+ 11oo N	o,862	12,7o6	
Proband 2	- 11	- 66	+ 43	o,514	2,447	
Proband 3	16	+ 11	+ 21	9,436	2,776	signifikant
Proband 4	64	+ 33	+ 94	5,1o6	2,447	signifikant
Proband 5	45	+ 21	+ 7o	4,54o	2,447	signifikant
Proband 6	4	- 11	+ 19	o,662	2,447	
Proband 7	94	- 17	+ 2o5	1o,714	12,7o6	
Proband 8	23	+ 3	+ 42	3,192	2,776	signifikant
Proband 9	- 51	- 118	+ 17	2,391	3,182	
Proband 1o	24	+ 8	+ 39	3,997	2,571	signifikant
Proband 11	- 44	- 91	+ 4	11,667	12,7o6	
Proband 12	32	+ 6	+ 57	3,986	3,182	signifikant
Proband 13	- 9	- 24	+ 6	1,49o	2,571	
Proband 14	- 43	- 7o	- 15	4,263	2,776	signifikant
Proband 15	- 2o	- 54	+ 14	1,877	3,182	

Tabelle 3: Varianzanalyse

	7 Meßreihen mit Abbruch	5 Meßreihen ohne Abbruch	3 Meßreihen weibl.Prob.	Meßreihen aller Prob.
F-Wert	3,79	17,23	19,47	7,3
Tab.-wert 5 %	2,49	2,87	3,89	2,24

War das errechnete F größer als der (bei dem gewählten 5 %-Signifikanzniveau) entsprechende Tabellenwert, so bedeutete dies, daß die Messungen in sich nicht homogen waren, was für alle aufgestellten Varianzanalysen zutraf. Sowohl die Meßreihen, bei denen ein Abbruch erfolgte,als auch die Meßreihen mit weiblichen Probanden bildeten keine in sich homogenen Untergruppen, die sich signifikant von den übrigen Meßreihen unterschieden.

VI Diskussion

Aufgabe war es, im klinisch-messenden Versuch nachzuweisen, ob eine Krafteinleitung an verschiedenen Stellen des Zahnes - einmal im Bereich des Höckers, das andere Mal in der Fissur - zu unterschiedlicher Reizbeantwortung führt. Falls es Rezeptoren in der Zahnhartsubstanz gibt, müßte der Unterschied der Reizantwort zwischen Fissur und Höcker am größten sein, da dort auch die mechanischen Spannungsunterschiede am größten sind. Damit sollte die Frage eines Rezeptormechanismus innerhalb der Zahnhartsubstanzen beantwortet werden.

Bei 146 Messungen an 15 Versuchspersonen zeigte die maximale, subjektiv aufgebrachte Beißkraft keinen signifikanten Unterschied zwischen Fissur und Höcker. 6 der 15 Probanden zeigten bei Belastung des Höckers signifikant höhere Meßwerte als bei Belastung in der Fissur. Bei einer Probandin wurde dagegen in der Fissur signifikant stärker belastet, während sich die Werte von 8 weiteren Probanden nur zufällig unterschieden.

Selbst Absprengungen von Schmelzpartikeln an vitalen Zähnen führten zu keinen unangenehmen Empfindungen. In einem Fall wurde der Zahn sogar durch die Keilwirkung des Kegels gespalten. Bei 8 Messungen wurden nach Versuchsende Schmerzen im Bereich des Apex angegeben.

Da aus den vorliegenden Ergebnissen bei weniger als der Hälfte im Bereich des Höckers signifikant höher belastet wurde als in der Fissur, zeigte sich kein Trend zu einer positiven Beantwortung der Frage nach intradentalen Rezeptoren. Außerdem erfolgte durch Absplitterung in 15 Fällen und Fraktur in einem Fall eine starke Beeinträchtigung der Probanden. Aus diesen Gründen wurde von umfangreicheren Meßreihen abgesehen.

Bei Betrachtung sämtlicher 146 Meßwerte war die Variationsbreite nicht nur von Person zu Person, sondern auch die

individuelle Variationsbreite eines Probanden sehr groß. Vergleicht man die Variationsbreite mit den Fehlern der Meßanordnung, die 1,4 % betrugen, so waren letztere zu vernachlässigen.

Andere Fehler waren die elastische und plastische Deformierung, unterschiedliche Oberflächenformen und unterschiedliche Druckfestigkeit der einzelnen Zähne. Damit waren jedoch keinesfalls die großen Unterschiede der Meßergebnisse der einzelnen Probanden geklärt. Diese ließen sich dadurch erklären, daß es keine exakte Grenze der Belastbarkeit gab, sondern vor allem bei Angst ein unsicheres Grenzgefühl auftrat.

MARTINKO (1965, 1968) schrieb, daß die Belastungsgrenze des Zahnes auch durch die Pulpa beeinflußt wird. Die Rezeptoren für die Wahrnehmung der Belastungsgrenze des Zahnes müßten in der Nähe der Zahnoberfläche und im Bereich der Nervenendigungen der Zahnpulpa liegen. Mit den hier vorgelegten Ergebnissen konnte die Existenz von intradentalen Rezeptoren nicht bestätigt werden.

Schon KAWAMURA (1964) betonte die Bedeutung der Kaumuskulatur als Teil des Rezeptorsystems. Bemerkenswert war auch eine Arbeit von ATKINSON und RALPH (1973). Hierbei wurde die maximale Kraft gemessen, die Prothesenträger aufbringen können und festgestellt, daß die Kraftwerte unmittelbar nach Eingliederung des Zahnersatzes niedriger waren als die Normalwerte von Vergleichspersonen mit natürlichem Gebiß. Die Werte steigerten sich aber im Verlauf von ein bis zwei Jahren allmählich, offensichtlich als Folge des wachsenden "Vertrauens" in die Prothese, auf dieselbe Höhe wie bei den natürlich bezahnten Personen. Die Autoren schlossen aus diesem Ergebnis, daß die Maximalkraft der Kaumuskulatur nicht der Kontrolle von Mechanorezeptoren unterliegt, sondern lediglich durch die physikalische Leistungsfähigkeit der Muskulatur begrenzt wird.

Aus folgenden Gründen ist daran zu denken, daß sich mit der hier angewandten Methode in der Zahnhartsubstanz vorhandene Rezeptoren nicht nachweisen lassen:

a) Die maximale Innervation der Kaumuskulatur bestimmt die maximale Beißkraft und nicht Rezeptoren im Zahn (BOLLINGER, LUKAS 1974; MÜHLBRADT, LUKAS, BOLLINGER 1975; KAWAMURA 1964; ATKINSON und RALPH 1973).

b) Die maximale Beißkraft stellt möglicherweise keine geeignete Reizantwort auf die Erregung eventueller Rezeptoren dar. Durch die anatomischen Gegebenheiten im apikalen Bereich des Zahnes könnte die maximale Beißkraftentfaltung eine Reizleitung am Foramen apicale einschränken oder gar verhindern.

c) Bei der Versuchsanordnung mußte der Proband auf gehärteten Stahl beißen. Aus den Äußerungen der Untersuchten ging hervor, daß das Kauen auf Metall Unbehagen bereitete und die Befürchtung, der Zahn könnte Schaden erleiden, kräftiges Zubeißen hemmte.

d) Die Rezeptorsysteme der Mundhöhle - Zahn, Parodontium, Kaumuskulatur - sind auf maximale Interkuspidation abgestimmt. Bei der Versuchsanordnung betrug jedoch die Bißsperrung 17 mm. Möglicherweise wurden die Rezeptorsysteme dadurch irritiert.

e) Es ist möglich, daß bei Belastung der Zahnhartsubstanzen die Informationsaufnahme und Weiterleitung über die Pulpa unbewußt abläuft. Die Information könnte durch die willentliche Teilnahme an dem Versuch durch die Versuchsperson beeinträchtigt werden.

LUDWIG (1975) fand ebenso wie in der vorliegenden Arbeit Absprengungen von Teilen der Krone. Im Gegensatz zu LUDWIG wurden jedoch in dieser Arbeit ausschließlich vitale Zähne untersucht.

Die von LUDWIG untersuchte Beißkraft bei Krafteinleitung in die Höckerspitze eines Seitenzahnes ist mit unseren Untersuchungen nicht vergleichbar. LUDWIG belastete den Höker einmal punktförmig mit einem Metallkörper und dann kleinflächig mit einem Kunststoffkörper. Dagegen wurde in dieser Arbeit ausschließlich mit Metallkörpern belastet: punktförmig die Höckerspitze, flächig die Fissur. Die von LUDWIG gefundenen Unterschiede sind nicht signifikant: die Fehlerbereiche (einfache Standardabweichungen?) überlappen sich.

Zusammenfassend war also nicht nachzuweisen, ob intradentale Mechanorezeptoren bei der neuroreflektorischen Steuerung des Kauapparates beteiligt sind. Um eine Klärung herbeizuführen, sind wahrscheinlich neurophysiologische Tierexperimente nötig, bei denen über eine geeignete Versuchsanordnung Druck auf Zähne appliziert und somit eine mögliche subjektive Beeinflussung unterdrückt wird. Gleichzeitig müßten am betreffenden Trigeminusast Aktionspotentiale abgeleitet werden.

VII Zusammenfassung

Durch experimentelle Untersuchungen wurde die Frage geprüft, ob in menschlichen Molaren intradentale Mechanorezeptoren zur reflektorischen Steuerung der maximalen Beißkraft vorhanden sind.

Die Meßanordnung bestand aus einem Quarzkristall-Kraftaufnehmer in Miniaturausführung. Zwischen Kraftaufnehmer und zu messendem Molar befanden sich eine Unterlagscheibe aus gehärtetem Stahl oder ein Kegel - je nachdem ob der Höcker oder die Fissur belastet werden sollte.

Die Messungen wurden an 15 Versuchspersonen, deren Gebiß ohne Anzeichen von Parodontopathien war, in 146 Einzelversuchen durchgeführt. Dabei wurde gezielt die Belastungsempfindung des ersten Molaren untersucht.

Mit der angegebenen Versuchsanordnung konnten intradentale Mechanorezeptoren nicht nachgewiesen werden, da es keinen statistisch gesicherten Zusammenhang zwischen der subjektiv aufgebrachten maximalen Beißkraft und der Reizbeantwortung an verschiedenen Stellen des Zahnes gab.

Die Ergebnisse wurden zusammen mit den bisherigen Literaturangaben überprüft.

VIII Literaturverzeichnis

1) ADLER, P.: Sensibility of teeth to loads applied in different directions;
J. dent. Res. 26, 279 (1947)

2) AHLGREEN, J.: The silent period in the emg of the jaw muscles during mastication and its relationship to tooth contact;
Acta. odont. scand. 27, 219 (1969)

3) ANDERSON, K. V.: Interaction of tooth pulp and periodontal ligament receptors in an jaw-depression reflex;
Exp.Neurol. 32, 295 (1971)

4) ARWILL, T.: Studies on the ultrastructure of dental tissues. II. The predentine-pulpal border zone;
Odont. Rev. 8, 19 - 2o8 (1967)

5) AVERY, J. K. and R. RAPP: An investigation of the mechanism of neural impulse transmission in human teeth;
Oral. Surg. 12, 19o - 198 (1959)

6) ATKINSON, H. F. and W. J. RALPH: Tooth loss and biting force in man;
J. dent. Res. 52, 225 (1973)

7) BERKELBACH VAN DER SPRENKEL, H.: Zur Neurologie des Zahnes;
Z. mikr.-anat. Forsch. 38, 1 - 86 (1935)

8) BERKELBACH VAN DER SPRENKEL, H.: Microscopical investigation of the innervation of the teeth and its surroundings;
J. Anat. 7o, 233 (1936)

9) BARTHELSTONE, H. J.: Radio-iodine penetration through intact enamel with uptake by bloodstream and thyroid gland;
J. dent. Res. 3o, 728 - 733 (1951)

1o) BERNICK, S.: Innervation of the primary tooth and surrounding supporting tissues of monkeys;
Anat. Rec. 113, 215 - 238 (1952)

11) BESSETTE, R. W., MOHL, N. D. and B. BISHOP: Contribution of periodontal receptors to the masseteric silent period;
J. dent. Res. 53, 1196 (1974)

12) BOLLINGER, K. und D. LUKAS: Belastungsempfindung oberer Eckzähne;
Dtsch. zahnärztl. Z. 29, 283 (1974)

13) BRÄNNSTRÖM, M.: Dentinal and pulpal response;
Acta odont. scand. 18, 17 (196o)

14) BRÄNNSTRÖM, M.: Dentinal and pulpal response v. Application of pressure to exposed dentin;
J. Dent. Res. 4o, 96o (1961)

15) BROWN, L. R., WACHTEL, L. W. and M. G. WHEATEROFT: Diffusion of niacin through extracted human teeth and its effect on bacterial penetration into dentine;
J. dent. Res. 41, 684 - 694 (1962)

16) BRASHEAR, A. D.: The controversy concerning the innervation of the teeth;
J. dent. Res. 16, 5 (1937)

17) BRENMAN, H. S., BLACK, M. A. and J. G. COSLET: Interrelationship between the electromyographic silent period and dental occlusion;
J. dent. Res. 47, 5o2 (1968)

18) DRECHSLER, F., KOHNO, S., KÜHL, W. und B. NEUHAUSER: Neurophysiologische Analyse der Wirkung okklusaler Interferenzen auf Regulation und Koordination der Kaumuskulatur;
Dtsch. zahnärztl. Z. 28, 695 (1973)

19) FUNAKOSHI, M. and N. ANAMO: Periodontal jaw muscle reflexes in the albino rat;
J. dent. Res. 53, 598 (1974)

2o) GIBBS, C. and S. SUIT: Movements of the jaw after unexpected contact with a hard object;
J. dent. Res. 52, 81o (1973)

21) GRIFFIN, C. J. and R. R. MUNRO: Electromyography of the jaw-closing muscles in the open-close-clench in man;
Arch. oral Biol. 14, 141 (1969)

22) GRIFFIN, C. J. and H. SPAIN: Organization and vasculature of human periondontal ligament mechanoreceptors;
Arch. oral Biol. 17, 913 (1972)

23) a) HANNAM, A. G.: Spontaneous activity in dental mechanosensitive units in the dog;
Arch. oral Biol. 14, 793 (1969)

24) b) HANNAM, A. G.: The response of periodontal mechanoreceptors in the dog to controlled loading of the teeth;
Arch. oral Biol. 14, 781 (1969)

25) HANNAM, A. G. and B. MATTHEWS: Reflex jaw opening in response to stimulation of periodontal mechanoreceptors in the cat;
Arch. oral Biol. 14, 415 (1969)

26) HANNAM, A. G., MATTHEWS, B. and R. YEMM: The unloading reflex in masticatory muscles of man;
Arch. oral Biol. 13, 361 (1968)

27) HANNAM, A. G., MATTHEWS, B. and R. YEMM: Changes in the activity of the masseter muscle following tooth contact in man;
Arch. oral. Biol. 14 1401 (1969)

28) HANNAM, A. G., MATTHEWS, B. and R. YEMM: Receptors involved in the response of the masseter muscle to tooth contact in man;
Arch. oral Biol. 15, 17 (1970)

29) HILTON, P. B.: The effect of repeated stimulation on the response from slowly adapting periodontal mechanoreceptors;
Oral Physiology 20, 217 (1971)

30) JERGE, C. R.: Organization and junction of thetrigeminal mesencephalic nucleus;
J. Neurophysiol 26, 379 (1963)

31) JERGE, E. R.: The neurologic mechanism underlying cyclic jaw movements;
J. Prosth. Dent. 14, 667 (1964)

32) KAWAMURA, Y.: Recent concepts of the physiology of mastication;
Advances oral Biol. 1, 77 (1964)

33) KAWAMURA, Y.: Neurophysiologic background of occlusion;
Periodontics 5, 175 (1967)

34) KAWAMURA, Y.: Recent advances in the physiology of mastication;
Oral Physiology 2o, 173 (1971)

35) KAWAMURA, Y. and T. NISHIJAMA: Jap. J. Physiol. 16, 584 (1966). Zit. nach CHRISTENSEN, J.: Effect of occlusion raising procedures on the chewing system;
Dent. Practit. 2o, 223 (197o)

36) KIZIOR, J. E.: Functional and histological assessment of the sensory innervation of the periodontal ligament of the cat;
J. dent. Res. 47, 59 (1968)

37) LEWINSKY, W. and D. STEWART: The innervation of the peridontal membrane;
J. Anat. 71, 98 (1937)

38) LOEWENSTEIN, W. R. and R. RATHKAMP: A study on the pressoreceptive sensibility of the tooth;
J. dent. Res. 34, 287 (1955)

39) LUDWIG, P.: Die Kraftentwicklung der Kaumuskulatur und ihre sensorische Steuerung;
Dtsch. zahnärztl. Z. 3o, 797 (1975)

4o) MAIER, H.: Zur Frage der propriozeptiven Eigenschaften der Zahnhartsubstanzen;
Zahnmed. Dissertation Tübingen (1976)

41) MANLY, R. S., PFAFFMANN, C., LATHROP, D. D. and J. KEYSER: Oral sensory thresholds of persons with natural and artificial dentitions;
J. dent. Res. 31, 3o5 (1952)

42) MARTINKO, V.: Einige Gedanken zum Problem der Messungen von Kräften bei Kauvorgängen;
Dtsch. zahnärztl. Z. 2o, 91o (1965)

43) MARTINKO, V.: Bestimmt das Desmodont (Wurzelhaut) die Belastungsgrenze des Zahnes?;
Dtsch. zahnärztl. Z. 23, 91o (1968)

44) MATTHEWS, B.: Action potentials from dental mechanoreceptors in the dog;
J. dent. Res. 44, 1167 (1965)

45) MOTSCH, A. und S. LEHNERT: Grundsätzliches zur Beziehung zwischen Okklusion und Kiefergelenkstörungen;
Dtsch. zahnärztl. Z. 27, 796 (1972)

46) MÜHLBRADT, L., LUKAS, D. und K. BOLLINGER: Belastungsempfindung und taktile Schwelle an Oberkieferzähnen;
Dtsch. zahnärztl. Z. 3o, 4o6 (1975)

47) MÜNCH, J. und H. SCHRIEVER: Die Zähne als Sinneswerkzeuge;
Zschr. Biol. 91,75 (1931)

48) OWALL, B. and E. MÖLLER: Oral tactile sensibility during biting and chewing;
Odont. Revy 25, 327 (1974)

49) PFAFFMANN, C.: Afferent impulses from the teeth due to pressure and noxious stimulation;
J. Physiol. 97, 2o7 (1939)

5o) PÖLLMANN, L. und G. HILDEBRANDT: Zur Frage der tagesrhythmischen Spontanschwankungen der Schmerzempfindlichkeit der Zähne;
Zahnärztl. Welt/Reform 82, 176 (1973)

51) a) PÖLLMANN, L., HILDEBRANDT, G. und H. SCHNELL: Tagesrhythmik der Schmerzempfindlichkeit der Zähne;
Zahnärztl. Prax. 25, 67 (1974)

52) b) PÖLLMANN, L., HILDEBRANDT, G. und H. SCHNELL: Über die tagesrhythmischen Veränderungen der Schmerzschwelle und des "Dickenunterscheidungsvermögens" der Frontzähne;
Dtsch. zahnärztl. Z. 29, 238 (1974)

53) SCHÄRER, P., STALLARD, R. H. and H. A. ZANDER: Occlusal interferences and mastication, an electromyographic study;
J. prosth. Dent. 17, 438 (1967)

54) SCHUHMACHER, G. H.: Der Zahn als Tastorgan;
Öst. z. Stomat. 68, 25o (1971)

55) SCHULTE, W.: Die Muskelentspannung zur Therapie der Arthropathien des Kiefergelenks - zugleich ein Beitrag zur Steuerung des muskulomandibularen Bewegungssystems;
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 858 (1967)

56) SESSLE, B. J.: The influence of the periodontium on jaw muscle activity;
J. Can. Dent. Assoc. 38, 247 (1972)

57) SESSLE, B. J. and A. SCHMITT: Effects of controlled tooth stimulation on jaw muscles activity in man;
Arch. oral Biol. 17, 1597 (1972)

58) SHERRINGTON, C. S.: Reflexes elicitable in the cat from pinna, vibrissae and jaws;
J. Physiol. 51, 4o4 (1917)

59) SIIRILA, H. S. and P. LAINE: The tactile sensibility of the periodontium to slight axial loadings of the teeth;
Acta odont. scand. 21, 415 (1963)

6o) SINGER, F.: Okklusion 197o;
Zahnärztl. Prax. 22, 121 (1971)

61) SKRAMLIK, E. VON: Die Zähne als Vermittler von Empfindungen;
Dtsch. Stomat. 2, 326 (1952)

62) STEWART, D.: Some aspects of the innervation of the teeth;
Proc. Roy. Soc. Med. 2o, 1675 (1927)

63) UHLIG, H.: Über die Kaukraft;
Dtsch. zahnärztl. Z. 1, 3o (1953)

An dieser Stelle möchte ich meiner Frau Ingeborg und meiner Kathrin, die während der Zeit des Vorbereitens auf das Staatsexamen sowie der Promotion großes Verständnis für mich hatten, herzlichen Dank sagen.

Sodann bedanke ich mich bei meinen Eltern, die mir diesen Ausbildungsweg ermöglichten.

Weiterhin bedanken möche ich mich bei Herrn Professor Dr. W. Schulte für die Überlassung des Themas und bei Herrn Dipl.-Phys. Lukas für die wertvolle Hilfe.

Lebenslauf

Am 2o. 2. 195o wurde ich, Fritz-Albrecht Ellinger, als Sohn des Schreinermeisters Fritz Ellinger und seiner Ehefrau Leonie, geb. Hähnle, in Stuttgart-Bad Cannstatt geboren. Dort besuchte ich die Volksschule und wechselte am 2. 4. 1961 in das neusprachliche Johannes-Kepler-Gymnasium. Am 4. 6. 1969 legte ich die Reifeprüfung ab.

Im Wintersemester 1969/7o und Sommersemester 197o studierte ich Biologie an der Universität Hohenheim.

Am 1. 1o. 197o wurde ich zur Bundeswehr eingezogen. Nach 18monatiger Dienstzeit wurde ich im März 1972 entlassen.

Bis Herbst 1972 machte ich ein Praktikum in einem zahntechnischen Labor.

Von Herbst 1972 bis Winter 1977 studierte ich in Tübingen Zahnmedizin.

Das Vorphysikum legte ich am 26. 9. 1973, das Physikum am 14. 4. 1975 und das Staatsexamen am 16. 12. 1977 ab.